



## Rostfärgat slam i dränagesystem vid vattenkraftsanläggningar – orsaker och åtgärder

*Iron-bacteria induced reddish-brown sludge in the  
drainage system of hydropower dams*

Anders Hamrén

**SWECO** 

The SWECO logo features the company name in a bold, black, sans-serif font, followed by a stylized graphic element consisting of a black 'X' shape with a red dot at its top intersection.



SLU, Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap  
Institutionen för energi och teknik

Anders Hamrén

Rostfärgat slam i dränagesystem vid vattenkraftsanläggningar – orsaker och åtgärder  
Iron-bacteria induced reddish-brown sludge in the drainage system of hydropower dams

Handledare: Gustav Enmark, Sweco Infrastructure AB  
Ämnesgranskare: Barbro Ulén, institutionen för mark och miljö, SLU  
Examinator: Åke Nordberg, institutionen för energi och teknik, SLU

EX0269, Examensarbete 30 hp, Avancerad nivå, A2E, teknik  
Civilingenjörsprogrammet i energisystem 270 hp

Serienamn: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)  
ISSN 1654-9392  
2013:02

Uppsala 2013

Nyckelord: vattenkraft, dammar, järnbakterier, flödesmätning, dränagesystem

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Omslag: Utlopp från dränagesystem med kraftig järnutfällning vid Foskvattnet, 2012, foto författaren



---

## Abstract

The occurrence of reddish-brown sludge in the drainage systems that collect seepage from embankment dams is something that has long been noticed and given rise to different questions. The most serious question is if the sludge is a result of inner erosion through the dam, and thus consists of material transported from the dam. Concerns have also been raised whether the sludge could interfere with the systems drainage capacity and thereby lead to high pore pressure in the dam, or if the measurement of seepage is disturbed, as the measuring is usually made via Thomson weirs, which could risk being blocked.

The result of this investigation shows that the sludge is a result of the oxidation of iron by iron bacteria, and to the greater part consists of these oxides as well as the bacteria's own structures. The iron oxidizing bacteria, FeOB, oxidizes ferrous iron to ferric as a part of their metabolism, and thereby create large quantities of iron(oxy)hydroxides. The bacteria that contributes the most to the building of sludge, *Gallionella ferruginea* and *Leptothrix ochracea*, are characterized by their extracellular structures, twinned tails in the case of *Gallionella f.* and sheaths in the case of *Leptothrix*. These structures are easy to observe via microscope and both strains have been observed in samples of the sludge from dams.

In order to grow and produce sludge these bacteria need two things, solved ferrous iron in the water and a gradient from a non-aerobic to an aerobic environment. The ferrous iron is supplied by another type of bacteria, FeRB, iron reducing bacteria, which in an oxygen free environment reduces ferric iron with organic compounds as electron source.

No sufficient methods to prevent the forming of sludge have been presented. Water flushing of drainage pipes as well as suction of wells has shown to be an efficient method to temporarily remove the sludge.

Accordingly, the sludge by itself is not a sign of inner erosion in the dam. In extreme cases and in conjunction with neglected maintenance it's possible for the sludge to hazard the draining function. As for the measuring of seepage, the sludge becomes a problem when (partially) blocked Thomson weirs give unreliable values.

Until a working method to prevent the forming of sludge emerges, regular maintenance is required in systems where sludge is present. Supplementary instrumentation for flow measuring, for example water stand pipes or the gauging of temperature in the dam, as well as video surveillance of wells can give more reliable measurements.

---

---

## Sammanfattning

Förekomsten av rödbrunt slam i de dränagesystem som samlar upp läckage genom jorrdammar är något som länge iakttagits och gett upphov till olika frågeställningar. Den allvarligaste huruvida slammet är ett resultat av inre erosion i dammkroppen, och sålunda skulle bestå av material som transporterats ur dammen. Det har även väckts farhågor ifall slammet skulle inverka på systemets dränerande förmåga, och därmed leda till höga portryck i dammen, samt ifall mätningar av läckagemängder allvarligt störs, då läckagemätningen oftast sker vid Thomsonöverfall, som riskerar att störas.

Resultatet av den här undersökningen visar att slammet är ett resultat av järnbakteriers oxidation av järn, och består till största delen av dessa oxider samt bakteriernas egna strukturer. De järnoxiderande bakterierna, FeOB, oxiderar Fe(II)-joner till Fe(III) som en del av sin metabolism, och bildar därmed stora mängder järn(oxy)hydroxider. De bakterier som står för den mesta tillväxten av slam, *Gallionella ferruginea* och *Leptothrix ochracea*, karakteriseras av sina extracellulära strukturer, tvinnade svansar hos *Gallionella f.* och skidor hos *Leptothrix*. Dessa strukturer är lätta att iakttä i mikroskop och båda typerna har iakttagits i slamprover från dammanläggningar.

För att tillväxa och avsätta restprodukter behöver dessa bakterier två saker, lösta järn(II)-joner i vattnet samt en gradient från anaerob till aerob miljö. Järn(II)jonerna bildas av en annan typ av bakterier, FeRB, järnreducerande bakterier, som i syrefri miljö reducerar järn med organiska föreningar som elektronkälla.

Inga fungerande metoder för att förebygga slammets uppkomst har presenterats. Spolning med vatten av dränageledningar samt slamsugning av brunnar har visat sig vara en effektiv metod för att tillfälligt avlägsna slammet.

Slammet är i sig alltså inte ett tecken på inre erosion i dammkroppen. I extrema fall och i kombination med eftersatt underhåll skulle slammet kunna äventyra den dränerande funktionen. Mättekniskt är slammet ett problem då igenslammade Thomsonöverfall ger felaktiga mätvärden.

Tills en fungerande metod för att förebygga slamning tas fram är regelbundet underhåll nödvändigt i anläggningar med slamförekomst. Kompletterande instrumentering för flödesmätning, till exempel vattenståndsrör eller temperaturmätning i dammkroppen, samt videoövervakning av mätbrunnar kan ge tillförlitligare mätresultat.

---

---

## **Executive summary**

Detta examensarbets syfte är att utreda orsaker till att det bildas rostfärgat slam i de dränagesystem som dränerar fyllningsdammar, då slammet försvårar en tillförlitlig läckagemätning. Det har även funnits farhågor att slammet skulle bestå av material från tät kärnan, och alltså vara ett tecken på inre erosion, eller att slammet skulle äventyra dränagets funktion.

Syftet är även att presentera möjliga åtgärder för att förhindra slammets uppkomst alternativt minska slammets påverkan på dränagesystemet och läckagemätningen.

Slammet produceras av så kallade järnbakterier, som utviner energi genom att oxidera järn(II)joner till järn(III)joner. För att detta skall kunna ske krävs förekomst av löst järn i vattnet, samt en gradient mellan syrefri och syresatt miljö där bakterierna kan verka.

Av de olika metoder för att förhindra bakterietillväxt som utretts anses ingen metod för närvarande vara tillämpningsbar.

För att minska slammets effekter är regelbundet underhåll med vattenspolning av dränageledningarna för närvarande det bästa alternativet. I vissa fall kan kompletterande instrumentering vara nödvändigt.

I rapporten presenteras ett antal områden där ytterligare studier skulle kunna ge upphov till metoder för att varaktigt minska förekomsten av slam.

---





---

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inledning</b>                       | <b>7</b>  |
| 1.1      | Bakgrund                               | 7         |
| 1.2      | Syfte                                  | 7         |
| 1.3      | Genomförande och avgränsningar         | 8         |
| 1.4      | Hypotes                                | 8         |
| <b>2</b> | <b>Litteraturstudie</b>                | <b>9</b>  |
| 2.1      | Vattenkraft och dammar                 | 9         |
| 2.1.1    | Fyllningsdammarna och deras uppbyggnad | 9         |
| 2.1.2    | Dränagesystem                          | 10        |
| 2.1.3    | Inre erosion                           | 11        |
| 2.1.4    | Läckagemätning                         | 11        |
| 2.1.5    | Dammsäkerhet                           | 12        |
| 2.2      | Järnbakterier                          | 13        |
| 2.2.1    | Järnoxiderande bakterier               | 13        |
| 2.2.2    | Järnreducerande bakterier              | 14        |
| 2.3      | Metoder för problemlösning             | 15        |
| <b>3</b> | <b>Fältbesök</b>                       | <b>17</b> |
| 3.1      | Metodik                                | 17        |
| 3.2      | Långströmmen                           | 18        |
| 3.3      | Foskvattnet                            | 22        |
| 3.4      | Häckren                                | 23        |
| 3.5      | Fältförsök                             | 23        |
| 3.5.1    | Teori bakom försöksupställning:        | 23        |
| 3.5.2    | Konstruktion                           | 24        |
| <b>4</b> | <b>Resultat</b>                        | <b>26</b> |
| 4.1      | Mikroskopering                         | 26        |
| 4.2      | Kemisk analys                          | 26        |
| 4.3      | Flödesmätningar Foskvattnet            | 27        |
| 4.3.1    | Mätbrunn 11                            | 27        |
| 4.3.2    | Mätbrunn 7                             | 27        |
| 4.3.3    | Resultat av fältförsök                 | 27        |
| <b>5</b> | <b>Diskussion</b>                      | <b>29</b> |
| <b>6</b> | <b>Slutsatser</b>                      | <b>32</b> |
| 6.1      | Förslag till fortsatta studier         | 32        |

---

---

|          |                   |           |
|----------|-------------------|-----------|
| <b>7</b> | <b>Referenser</b> | <b>33</b> |
| 7.1      | Figurer           | 35        |
| <b>8</b> | <b>Tabeller</b>   | <b>35</b> |

## **Bilagor**

Bilaga 1. Analysprotokoll

---

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Vattenkraften är en av hörnpelarna i Sveriges elenergiförsörjning. 2011 producerade vattenkraften 65,8 TWh el, vilket innebär 45 % av Sveriges totala elproduktion (Svensk Energi 2012). Det är dock inte enbart den stora mängd energi som omvandlas årligen som gör vattenkraft till en viktig faktor. Även de goda möjligheterna till effekterreglering, över såväl korta som långa tidshorisonter, gör vattenkraften till ett nödvändigt komplement till svårreglerade elproducenter som kärnkraft, vindkraft och kraftvärme.

För en effektiv reglering krävs dammanläggningar, som i sig är stora ingrepp i miljön runt en kraftanläggning. Än värre är ofta konsekvenserna vid ett dammhaveri, som kan leda till stora förluster av miljövärden och ekonomiska värden, eller i värsta fall människoliv. Ett kontinuerligt arbete kring dammsäkerhetsfrågor är därför en viktig ingrediens för att en trygg och hållbar energiförsörjning.

För att upprätthålla en god dammsäkerhet övervakas dammar på olika sätt. Vid fyllningsdammar anläggs ett dränagesystem där läckaget genom dammen kan mätas samtidigt som stödfyllningen hålls dränerad.

Det har på många anläggningar, såväl nationellt som internationellt och tillhörande alla stora kraftproducenter i Sverige, observerats att ockrafärgat slam tillväxt med en oroväckande hastighet i dränagesystemen. Förutom att slammet försvårat flödesmätningen har farhågor väckts om att slammet skulle förhindra systemets dränerande funktion eller i värsta fall bero på att material från dammens tätskikt transporteras ut. Slammet är i vissa fall även ett arbetsmiljöproblem.

Samma typ av ockrafärgat slam har noterats ställa till problem i borrhållsbrunnar, täckdikningssystem, grunddränage till fastigheter, trädgårdsdammar och förekommer även naturligt i källsprång och våtmarker. Den myrsmalm som stod för en stor del av den förindustriella järnutvinningen består av mineraliserade avlagringar av denna typ.

För att utreda problemets omfattning och orsaker samt om möjligt presentera en lösning beviljade Elforsk, Fortum och Indalsälvens Regleringsföretag pengar till ett examensarbete i Swecos regi med denna rapport som resultat. Handledare har varit Gustav Enmark på Sweco Infrastructure och ämnesgranskare har varit Barbro Ulén vid institutionen Mark och Miljö på Sveriges Lantbruksuniversitet.

## 1.2 Syfte

Arbetets mål och syfte är att om möjligt i första hand besvara tre frågor angående förekomsten av rödbrunt slam i dränageledningar:

- Finns risk för att material från dammkärnan spolats ut?
- Finns risk för att dräneringssystemets funktion störs i sådan utsträckning att dammstabiliteten äventyras?
- Störs flödesmätningarna i sådan omfattning att det är nödvändigt att vidta åtgärder?

Nästa steg är att utröna orsakerna till slammets uppkomst, för att slutligen titta på metoder för att förebygga eller undvika problemet.

---

### 1.3 Genomförande och avgränsningar

En litteraturstudie gjordes för att studera vad som tidigare skrivits i ämnet, för att ge en introduktion till ämnesområdet samt för att ge en bakgrund för att formulera en hypotes.

Under arbetets gång studerades ett antal dammanläggningar där Sweco Infrastructure har uppdrag och där problem med ockrafärgat slam noterats. Slamprover har tagits för mikroskopering och vattenprover för kemisk analys.

Under litteraturstudien studerades dammanläggningar såväl i Sverige som i övriga världen, samt andra system där rostfärgat slam påvisas.

De anläggningar som besöktes för provtagning befinner sig alla i Jämtlands län, förutom Vargfors som ligger i Västerbottens län.

### 1.4 Hypotes

Under litteraturstudiens gång formulerades hypotesen att de rostbruna utfällningarna är ett resultat av mikrobiologiska processer i järnhaltigt vatten, och består av järnbakterier, FeOB, och deras restprodukter. Vidare att utfällningarna inte i sig är en indikation på materialförlust i dammens tätkärna. En hypotes om att kontroll av vattnets syresättning var en framkomlig väg för att avhjälpa problemet antogs även, och en försöksuppställning för att utvärdera denna hypotes konstruerades och ställdes upp vid Långströmmens dammanläggning.

## 2 Litteraturstudie

### 2.1 Vattenkraft och dammar

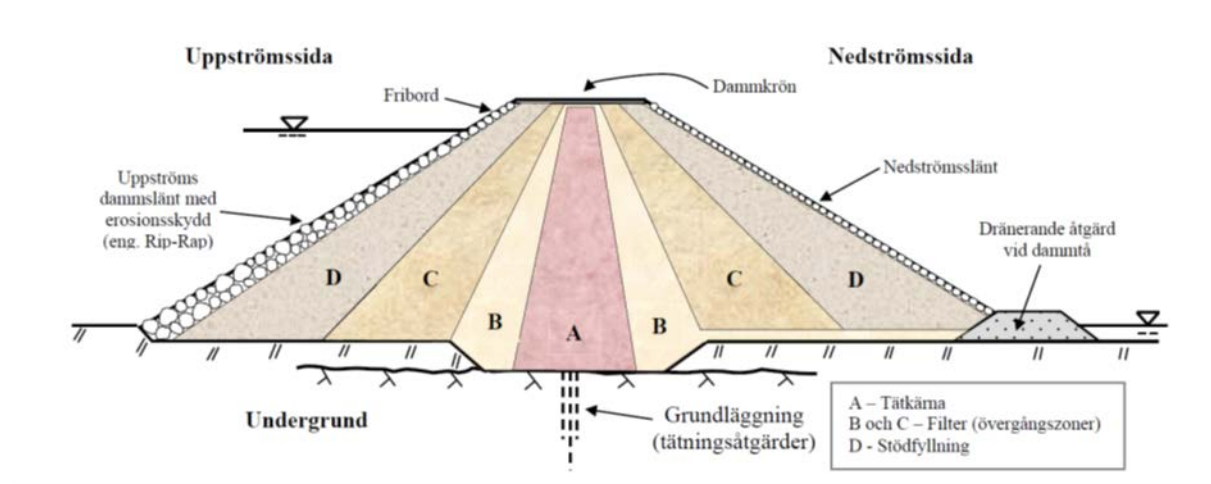
Vattenkraft är en viktig del av Sveriges energiförsörjning. Under 2011 producerade Sveriges vattenkraftverk 65,8 TWh el och stod för 45 % av Sveriges totala elproduktion (Svensk Energi, 2012). Det är inte enbart de stora volymer energi som produceras årligen som är viktiga, utan även de regleregenskaper som vattenkraften erbjuder (Dahlbäck, 2010). För att vattenkraften ska kunna fungera tillfredställande som energilager och reglerresurs krävs stora vattenmagasin med tillhörande dammar. I RIDAS, kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet, klassificeras alla kraftverksdammars i klasserna 1+, 1, 2 eller 3 efter vilka konsekvenser ett dammhaveri i värsta fall skulle medföra. Cirka 200 svenska dammar klassas som högkonsekvensdammars, i konsekvensklass 1+ eller 1. Det innebär att ett dammhaveri skulle medföra en hög eller icke försumbar risk för förlust av människoliv, alternativt allvarlig eller mycket allvarlig skada på viktiga samhällsanläggningar eller betydande naturvärden (RIDAS 2012, 2011).

Det är framför allt två typer av dammar som förekommer i vattenkraftsindustrin, betongdammars och fyllningsdammars. En betongdamm är en betongkonstruktion som stabiliseras antingen genom sin tyngd eller genom att dammen spänts upp som ett valv mellan sina infästningspunkter (Wiberg *et al.*, 2009). Betongdammars konstruktion och funktion kommer inte närmare beskrivas här, då de faller utanför detta arbetes inriktning. Äldre dammar kan vara konstruerade på andra sätt, till exempel av trä eller vara murade. Fyllningsdammars beskrivs i nästa stycke.

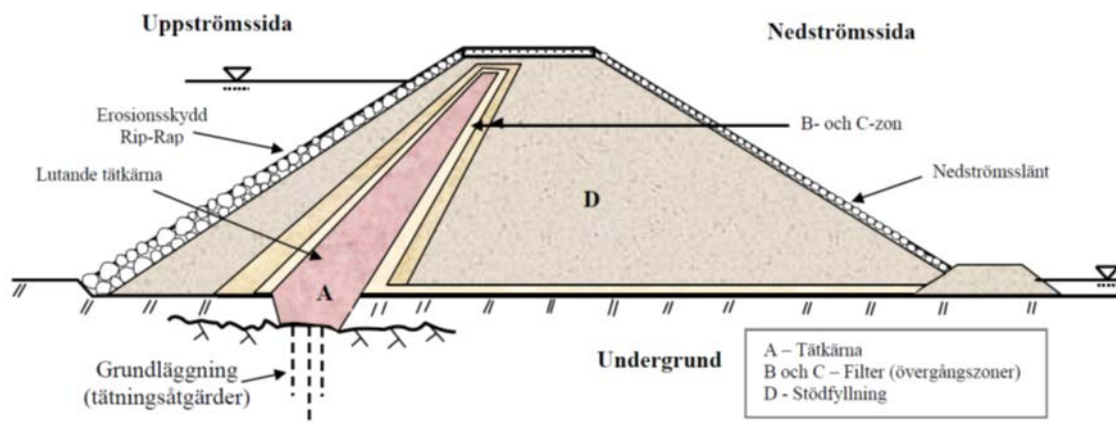
#### 2.1.1 Fyllningsdammars och deras uppbyggnad

Den vanligaste typen av dammar i Sverige är fyllningsdammars med jord- eller stenfyllning. De är vanligtvis uppbyggda med flera filterlager runt en tätkärna. Ytterst ligger stödfyllningen, som består av jord eller stenkross. Stödfyllningen skyddas uppströms och ibland nedströms av ett erosionsskydd.

Tätkärnans uppgift är att fungera som en relativt tät barriär, som endast släpper igenom ett mindre, kontrollerat, vattenflöde. Den består i Sverige oftast av morän, men andra material förekommer. Tätkärnan är antingen vertikal eller lutande nedströms (figur 2-1, figur 2-2). En lutande tätkärna innebär en jämnare tryckfördelning på nedströmssidan, dock kan den hydrauliska gradienten bli stor där tätkärnan ansluter till undergrunden på nedströmssidan.



Figur 2-1 Fyllningsdamm med rak tätkärna. Rönnqvist 2002



Figur 2-2 Fyllningsdamm med lutande tättkärna. Rönqvist 2002

Tättkärnan omges av ett eller flera filterlager, som har till uppgift att hindra materialtransport från tättkärnan. Filtren består av material med sådan kornstorlek att material ur tättkärnan effektivt stoppas, medan filtret själv inte eroderar ut i stödfyllningen.

Stödfyllningens syfte är att stabilisera och stödja dammen, samt skydda tättkärna och filterlager från tjälinträngning. Den består av på platsen tillgänglig jord eller stenkross av lämpliga dimensioner.

På stödfyllningens uppströmssida samt på utsatta ställen av nedströmsslänt och dammtå anbringas ett erosionsskydd, som kan bestå av allt från löst lagd sprängsten till asfalt, betong eller murverk, men som oftast består av sprängsten lagd i ordnade förband eller löst tippad. (Vattenfall, 1988).

Andra typer av fyllningsdammar är homogena dammar, där samma lågpermeabla material används till hela dammen, och CFRD-dammar (Concrete faced rockfill dams), där tätlagret av betong eller asfalt även fungerar som erosionsskydd på uppströmssidan av dammen (Lundin, 2006).

### 2.1.2 Dränagesystem

Genom en fyllningsdamm kommer alltid att finnas ett visst läckage, genom att såväl tättkärnan som undergrunden har en viss genomsläpplighet (Lagerlund, 2007). Läckagevattnet nedströms dammen fångas upp och leds bort av ett dränagesystem, dels för att möjliggöra mätningar av läckagets storlek, dels för att inte vatten ska bli stående och orsaka höga porttryck och stabilitetsproblem i dammen.

Kraven man ställer på dränagesystemet är att kunna transportera bort ett läckage genom dammen motsvarande att all tättkärna eroderats bort, så att hela dammen har en genomsläpplighet motsvarande stödfyllningen. Ett riktvärde för detta är att dimensionera dränagesystemet till 20 ggr det förväntade flödet (RIDAS 2012, 2011).

Att mäta läckaget genom dammen är en viktig del i säkerhetsarbetet. En kraftig ökning av flödet kan indikera inre erosion av dammkroppens tättkärna eller undergrund, medan en minskning av eller helt upphörande av flödet tyder på att själva dränagesystemets funktion är nedsatt.

### 2.1.3 Inre erosion

Inre erosion är ett tillstånd när materialtransport sker inom dammen. Erosionen kan initieras på tre sätt:

- Bakåtererosion med piping,
- koncentrerad läcka eller
- Suffusion och intern instabilitet.

Bakåtererosion innebär att material lösgörs till en fri eller dåligt filtrerad zon, till exempel kan ett filterlager vara konstruerat med fel material, vara dåligt packat eller skadats vid arbeten i dammkroppen. Läckage transporterar partiklarna nedströms samtidigt som erosionen propagerar gradvis uppströms, mot läckagets källa. Bakåtererosion inträffar om materialet är tillräckligt stabilt för att det ska finnas kanaler genom dammen där läckaget fortsätter och eroderar bort mer material så att kanalen vidgas (Lagerlund, 2007).

En koncentrerad läcka innebär att det finns en läckväg genom dammen, till exempel vid anslutningen mellan en fyllningsdamm och en betongdamm, eller en zon av dåligt packad tätjord. Koncentrerade läckor kan leda till igensättning av nedströmsfiltret som följs av höga tryckgradienter, vilket i sin tur leder till nya läckvägar och fortsatt erosion av tät kärnan.

Suffusion innebär att finare partiklar i tät kärnan transporteras bort och lämnar ett skelett av grövre partiklar. Suffusion anses i jämförelse med de andra förloppen vara relativt godartad, då partikelskelettet som kvarlämnas har tillräcklig hållfasthet, men kan dock leda till uppkomsten av höga portryck med därmed följande instabilitet i dammen.

Risken för inre erosion anses vara hög då tät kärnan består av morän, vilket är vanligt i svenska dammar. (Rönnqvist, 2010)

### 2.1.4 Läckagemätning

I RIDAS anges riktlinjer för hur mätningen av läckage genom dammen ska ske. För dammar av konsekvensklass 1, där ett dammbrott anses få stora konsekvenser, innebär detta att mätning av flödet ska ske kontinuerligt, medan mätning ska ske månadsvis för dammar av konsekvensklass 2 (RIDAS 2012, 2011).

Månadsvis mätning sker med hink och klocka eller mätöverfall, kontinuerlig mätning sker med få undantag medelst mätöverfall. Ett mätöverfall är en skarp kant med en bestämd profil som vattnet strömmar över med fritt fall mot nedströms vattenyta. Då är flödes hastigheten och flödet proportionellt mot vattenytans höjd uppströms överfallet. Vilken profil som väljs beror på flödet och överfallets primära syfte. Om man önskar god mät noggrannhet vid kraftigt varierande flöden väljs oftast en v-formad profil, där utflödet har samma geometri oavsett storlek (se figur 2-3). Flödet kan beräknas med sambandet:

$$Q = \frac{8}{15} \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \cdot \mu \cdot h^{2,5} \cdot \sqrt{2g}$$

Q är flödet i m<sup>3</sup>/s,  $\alpha$  är öppningsvinkeln,  $\mu$  är utströmningsskoefficienten, en anläggningsspecifik variabel som oftast ligger mellan 0,6 och 0,65, h är vattenytans höjd över triangelns spets



Figur 2-3  
Thomsonöverfall.  
Åmansboken 2003

---

och  $g$  är tyngdaccelerationen. Vanligast väljs  $\alpha = 90^\circ$ , överfallet kallas då Thomsonöverfall och sambandet blir följaktligen:

$$Q = \frac{8}{15} \cdot \mu \cdot h^{2,5} \cdot \sqrt{2g}$$

(Thomson 1861, Shen 1981, Boers *et al*, 1991).

För att mäta vattenytans höjd finns ett antal olika tillvägagångssätt, beroende på önskad mätfrekvens och lokala förhållanden. Visuellt avläsning mot en pegelskala kan användas vid glesa mätintervall och när vattenytan är lätt åtkomlig. Även när detta inte är den primära mätmetoden brukar pegelskalor finnas monterade för att på plats lätt kunna verifiera mätvärden eller kalibrera utrustning. Andra sätt att manuellt mäta vattenståndet är att använda klucklod eller flottör.

Vid kontinuerlig mätning används vanligtvis ultraljudsmätning eller tryckgivare, men andra metoder såsom displacementgivare, flottörer eller temperaturgivare kan förekomma (Möller, 2006).

I de fall då mätning med överfall inte är möjligt, exempelvis då vattenytan nedströms är hög eller dammen är grundlagd på vattengenomsläppliga jordlager, får andra metoder användas. Exempel kan vara vattenståndsror i dammkroppen eller temperaturmätning, antingen i vattenståndsror eller via fiberoptisk kabel i själva dammkroppen. Man kan genom att mäta temperaturen inuti dammen och jämföra den med vattenmagasinets temperatur uppskatta med vilken hastighet vattenmassor rör sig genom dammen (Enqvist, 2008).

Vid misstanke om inre erosion och materialtransport från tät kärnan kan det vara av värde att även mäta andra egenskaper hos läckageflödet, såsom färg och turbiditet. Det kan då även vara önskvärt med kameraövervakning av dränagesystemet (SWEDCOLD, 2010).

#### 2.1.5 Dammsäkerhet

Det finns cirka 10 000 av människor byggda dammar i Sverige (Riksrevisionen, 2007), varav runt 200 klassas som höga enligt internationella riktlinjer ( $>15$  m), och där 23 dammar anses leda till svår påfrestning på samhället om de havererar (SWEDCOLD, 2011). Därför är det viktigt med ett kontinuerligt dammsäkerhetsarbete. Händelser som dammbrotten vid Teton Dam och Canyon Lake i USA, och Banqiao i Kina, visar att dammbrott kan leda till stora ekonomiska kostnader och förlust av människoliv.

En analys av orsakerna till dammolyckor gjord av ICOLD (International Commission on Large Dams) med uppgifter från 14 700 dammar högre än 15 m från nästan hela världen, visar att den vanligaste orsaken till dammbrott är överströmning av dammkrönet och brott på mekanisk utrustning såsom utskov eller turbiner. 48 % av alla dammbrott kan härledas till detta.

Den näst vanligaste orsaken till bristningar är inre erosion i dammkroppen (28 %), och den tredje vanligaste orsaken är erosion i undergrunden (12 %). Instabilitet i slänter och andra delar av dammen står för 8 % av dammbrotten, medan 4 % härleds till "övrigt". Undersökningen innefattar uppgifter fram till 1983, men inga uppgifter från Kina.

I Sverige finns relativt få dammbrott dokumenterade. I september 2001 brast Högsjödammen utanför Sundsvall, en liten jordfyllnadsdamm med kärna av träspont. Dammbrottet föregicks av kraftiga regn och höga flöden som överströmmade dammen och eroderade bort stödfyllningen. Dammhaveriet ledde till att det redan svåra översvämningssläget i Sättnaån och Selångersån förvärrades, med skador för miljonbelopp som följd (Johnell & Eggertsson Karlström, 2001).

I november 2010 ledde ett elfel till att en damm i Helge å nära Osby överströmmades och brast, då ett turbinfel innebar stopp för flödet via turbinen samtidigt som utskovsluckorna inte öppnades. Dammen var en jordfyllningsdamm med tät kärna av träspont, betong och kiselgur, och var klassad i



---

konsekvensklass två, med icke försumbar risk för människoliv vid ett haveri. Haveriet ledde bland annat till att en bro nedströms dammen totalförstördes (Statens haverikommission, 2011).

En mindre damm i Sysslebäck i norra Värmland havererade till följd av överströmning 1973, en olycka som krävde ett människoliv (Riksrevisionsverket, 2007).

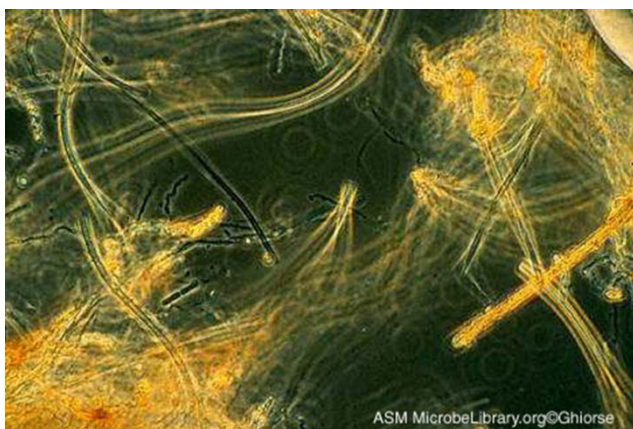
I Aitik skedde ett dammbrott 2000, då en fyllningsdamm som invallade ett slammagasin vid gruvan brast. Cirka 2 miljoner m<sup>3</sup> vatten och sand strömmade ut i ett klarningsmagasin, som lyckligtvis höll. Istället begränsades utsläppet till 1,26 miljoner m<sup>3</sup> vatten (Länsstyrelsen i Norrbottens Län, 2006). Orsaken till dammbrottet blev aldrig riktigt klargjort, men utredarna föreslog två teorier; höga porttryck i stödfyllningen med bristande släntstabilitet som följd, alternativt läckage och inre erosion längs en kulvert (Göransson *et al.*, 2000).

## 2.2 Järnbakterier

### 2.2.1 Järnoxiderande bakterier

I dräneringsrör och andra miljöer där järnhaltigt vatten strömmar från en anaerob till en aerob miljö bildar bakterierna och deras lämningar en tjock biofilm eller biomatta. En gradient mellan anaerobt och aerobt vatten eller en vattenmiljö med anaeroba mikrozonier är en förutsättning för tillväxt av dessa bakterier. Studier gjord av kolonier både *in situ* och i laboratorium visar att under gynnsamma förhållanden kan en biomatta tillväxa med upp till 3,1 mm tjocklek per dag (Emerson/Revsbech 1994). Eftersom den kemiska oxidationen av järn i väl syresatta vatten går mycket fort vid neutralt pH, sker ingen bakterietillväxt i väl syresatta vatten.

Att de tjocka mattor av rödbrunt material som bildas när järnhaltigt, anaerobt eller mikroaerobt vatten tränger fram består av järnoxyhydroxid som avsatts på strukturer bildade av järnbakterier (FeOB, järnoxiderande bakterier) visades redan för över hundra år sedan (Winogradsky 1888). Enligt Mulder (1964) är det tre grupper av bakterier som står för den mesta tillväxten av material: Skidformande bakterier (*Sphaerotilus-Leptothrix*-gruppen av bakterier), *Gallionella*-bakterier som formar långa flätade svansar, samt medlemmar av gruppen *Thiobacillus*, senare omdöpta till *Acidithiobacillus* (Hedrich *et al.*, 2011). Av dessa tillväxer *Acidithiobacillus* främst i mycket sura miljöer med pH-värden runt 2-2,5, medan de andra typerna växer vid mer neutrala pH-värden (Mulder 1964). Järnoxiderande bakterier oxiderar Fe<sup>2+</sup>-joner till Fe<sup>3+</sup> för att utvinna energi, även om de exakta mekanismerna ännu inte är helt utredda (Emerson *et al.*, 2010, Hallbeck *et al.*, 1993). Som oxidationsmedel används vanligast syre, även om det finns stammar som kan tillväxa helt anaerobiskt och då reducera nitrat (Straub *et al.*, 1996).



**Figur 2-4 Gallionella Ferruginea och Leptothrix ochracea. Ghiorse 2002**

Undersökningar *in situ* tyder på att det främst är arterna *Leptothrix ochracea* och *Gallionella ferruginea* som bidrar till uppbyggnaden av material (se figur 2-4), även om det är möjligt att de bakterierna inte är i kvantitativ majoritet (Emerson & Revsbech 1994, Fleming et al 2011). Detta beror på att de av *L. ochracea* bildade skidorna ofta är tomma, och inte innehåller några bakterier. I vissa fall har så lite som 7 % av skidorna i prover visat sig innehålla bakterier (Emerson & Revsbech 1994).

Dessa två släkten är bland de först beskrivna mikroorganismerna. Redan 1888 (*L. ochracea*) (Winogradsky 1888) respektive 1836 (*G. ferruginea*) (Ehrenberg 1836) skrevs de första artiklarna där bakteriella strukturer i järnrika sediment beskrevs. Då bakterierna är mycket svåra att odla har stora osäkerheter ifråga om taxonomi och släktskap kvarstått, och det är inte förrän relativt nyligen som man med DNA-analysmetoder har kunnat fastställa släktskapet mellan de olika stammarna (Fleming et al., 2011, Hallbeck et al., 1993).

Funktionen hos de extracellulära strukturer som dessa bakterier skapar, skidor (*L. ochracea*) eller stjärkar (*G. ferruginea*), är inte helt säkerställd. De kan vara verktyg för att fysiskt hålla kvar bakterierna i den zon där tillväxt kan ske, men troligt är att de har som syfte att hålla restprodukterna av järnoxidationen (järnoxyhydroxid och skadliga syreföreningar) borta från cellkärnan. Under anaeroba eller mikroaeroba förhållanden är celler av *G. Ferruginea* fristående utan stjärkar (Hallbeck & Pedersen, 1995).

### 2.2.2 Järnreducerande bakterier

De Fe<sup>2+</sup>-joner som FeOB behöver för sin tillväxt kommer i sin tur från andra bakterier som har reducerat det järn som tillförs grundvattnet genom vittring. Dessa järnreducerande bakterier (FeRB) utviner energi genom att under anaeroba förhållanden oxidera organiskt material med järnet som elektronreceptor (Kappler et al., 2003). Humussyror kan fungera som mellanhand, och reduceras av olika bakterier, för att sedan i en kemisk redox-reaktion reducera järn(III)jonerna (Kappler et al., 2003). Humussyror är rikligt förekommande i skogsvatten.

FeRB är en heterogen grupp bakterier med stor diversitet och som kan leva under olika förhållanden. Hundratals stammar kan förekomma i samma miljö (Yi et al., 2012). Vissa järnoxiderande bakterier kan även under speciella förhållanden reducera järn (Hedrich et al. 2011).

---

## 2.3 Metoder för problemlösning

Problem med utfällningar av järnoxyhydroxid bildat av bakterier har behandlats i ett antal publikationer och rapporter, och olika förslag till lösningar har framhållits, ofta beroende på problemformuleringen. I en artikel där problem vid en dammanläggning i Sydkorea beskrivs (Bea *et al*, 2012) definieras två problem: att materialet kan vara lera från dammens undergrund samt att materialet kan blockera dränagehålen med instabilitet som följd. Det första problemet utesluts med hjälp av kemisk analys, och för att åtgärda det senare föreslås spolning med klorlösning och hett vatten, alternativt frekvent lågtrycksspolning med vatten. I artikeln nämns också att liknande situationer i USA åtgärdats med klor-syra-klor-spolning, spolning med klorlösning och hett vatten eller lågtrycksspolning med vatten. I ett fall i Japan bedömdes att utfällningarna inte utgjorde någon risk för dammsäkerheten och inga åtgärder vidtogs (Bea *et al*, 2012).

Fyra rapporter från SWECO (Nielsen 2009, Enmark 2011, Eurenus 2011 och Ekström *et al*, 2009) behandlar problemet. Enligt Nielsen 2009 antas inget problem föreligga då markens höga nitritinnehåll ger en bakterieflora som konkurrerar ut de järnreducerande bakterierna. Skulle problem trots allt uppstå rekommenderas nedplöjning av organiskt material i dräneringsdikena, för att på så sätt ställa om bakteriefloran. Inga åtgärder vidtogs vid konstruktionen, och efter några års drift har inga utfällningar rapporterats (Mohlin, 2012).

I en damm i Svea där utfällningar noterats stora mätningarna vid Thomsonöverfall rekommenderas regelbunden spolning av systemet och rensning av mätöverfallen (Enmark, 2011). Vatten från dränagesystemet har analyserats och slutsatsen har dragits att järn utfälls högt upp i systemet och transporteras som järnoxider ned till mätbrunnarna (Eurenus, 2011).

I en annan rapport (Ekström *et al*, 2009) där problem vid Vargfors dammanläggning i Västerbotten studerats ges exempel på flera olika metoder för att komma till rätta med problemen. Mekaniska lösningar såsom periodvis genomsköljning av systemet eller nedströms motdämning så dränagesystemet står under vatten för en syrefri miljö, luftning av grundvattnet eller kemiska lösningar genom tillsats av syra, nitrat för en ändring av redoxpotentialen eller nedplöjning av organiskt kol (sågspån) för att ställa om bakteriefloran.

I sitt examensarbete om igensättning av dräner i tunnlar (de mattor som täcker tunnelväggen så läckagevatten ej ska rinna ned i tunnelutrymmet) rekommenderar Ekliden (2008) att, förutom att noggrannhet iaktas vid monteringen, dräner konstrueras så att det är möjligt att spola mellan bergvägg och drän.

I de dräneringshål som mynnar i en inspektionstunnel under Håckrendammen (Höeg *et al.*, 2008) har utfällningar noterats. Från det hål som haft störst förekomst har vattnet letts i gummislang till en pumpgrop vid tunnelns mynning, där vattnet sedan faller fritt ned i pumpgropen, som är försedd med mätöverfall. Inga problem har rapporterats sedan installationen gjordes.

Vid täckdikning inom jordbrukssektorn kan igensättning av järnbakterier vara ett problem. För att minska problemen används ofta grovt sågspån som filtermaterial (Lindström, 2008). En studie av Berglund *et al.* (1984) förordar undervattenssystem, där täckdiken hålls dämnda för att undgå syresättning. Om inte detta är möjligt föreslås att systemen byggs så att de är enkla att spola.

En studie från Florida (Ford & Spencer, 1962) jämför olika material i filterfyllnaden tillsammans med olika former av tillsatt koppar som baktericid. Studien visar ingen effekt av sågspån som filterfyllning, i stället fås bäst effekt med ett filter av slagg. Slagget är en restprodukt från fosfatindustrin och dess sammansättning anges inte närmre i artikeln. Författarna menar dock att det är alkaliniteten hos slagget som är effektiv. Att tillsätta kopparsulfat direkt i filterfyllningen ger en god men kortvarig effekt. Att lägga koppartråd direkt i ledningen visar ingen effekt då filterfyllningen består av slagg, men

---

möjligen då filtret består av sågspån. Det kan bero på den stora skillnaden i pH-värde för dränagevattnet i de olika ledningarna, då metoden bygger på att koppar löses i dränagevattnet.

### 3 Fältbesök

#### 3.1 Metodik

De metoder som använts vid de olika fältundersökningarna samt de analysresultat som erhöles från tidigare projekt sammanfattas i nedanstående tabell:

Tabell 3-1

| Anläggning:                              | Mikroskopering<br>av slam | Kemisk<br>analys<br>av<br>läckage<br>-vatten | Lednings-<br>filmning<br>efter<br>spolning | Flödesmätning<br>med hink och<br>klocka | Okulär-<br>besiktning | Kemisk<br>analys av<br>slam |
|--|---------------------------|--|--|---|-----------------------|-----------------------------|
| Långströmmen,<br>befintligt dränage      | X                         | x  | x  |   | x                     |                             |
| Foskvattnet                              | X                         | x  |  | X                                       | x                     |                             |
| Håckrendammen                            | X                         |  |  |   | x                     | x                           |
| Svegsdammen                              |                           | x  |  |   |                       |                             |
| Vargfors                                 |                           | x  |  |   |                       | x                           |
| Försöks-<br>uppställning<br>Långströmmen |                           |  |  |   | x                     |                             |

Mikroskopering av slamprover gjordes för att se om skidor från *Leptothrix ochracea* eller stälkar tillhörande *Gallionella ferruginea* kunde upptäckas. Ett ljusmikroskop av modellen Nikon ALPHASHOT E2 YS2 användes för att studera proven. Tack vare strukturernas redan ockrabruna nyans behövde ingen infärgning göras.

Under arbetets gång togs vattenprover i Långströmmen och Foskvattnet som skickades för analys av Järn- och Manganinnehåll till ALS laboratories. Provet från Långströmmen analyserades även med avseende på suspenderat material. Från tidigare projekt fanns analysresultat att tillgå från vattenprover från Svegsdammen och Vargfors, samt analysresultat från slamprover från Håckrendammen och Vargfors.

I mätbrunnarna i Foskvattnet utfördes flödesmätning med hink och klocka före och efter överfallet rengjordes, för att undersöka om beläggning på själva överfallsplåten förändrar överfallets hydrauliska egenskaper.

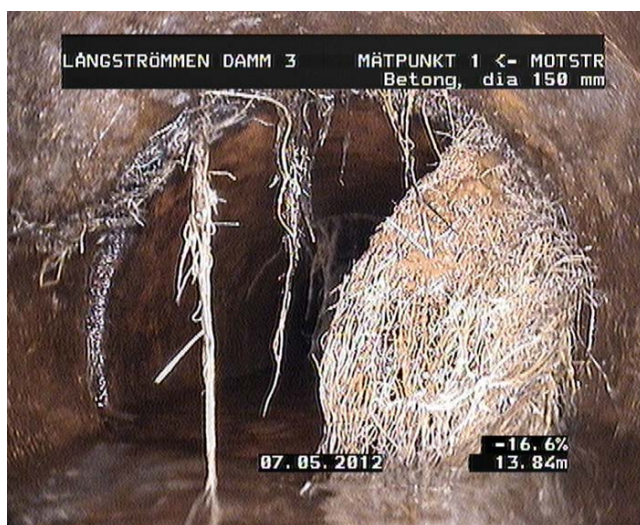
Eftersom de rostfärgade beläggningarna är tydliga och lätta att se med blotta ögat räcker ofta en inspektion för att se om tillväxt skett.

Vid Långströmmen inspekterades även ledningsnätet med hjälp av kamera för att se i vilket skick ledningarna var.

### 3.2 Långströmmen

Långströmmen är en vattenkraftsanläggning som är belägen i Ljusnan strax söder om Ytterhogdal. Den inbegriper sex jordfyllningsdammar varav tre (damm 3, 5 och 6) har dränagesystem. Igensättningar med rödbrunt slam har tidigare rapporterats (Johansson *et al*, 2010).

Vid fältbesöket spolades, slamsögs samt filmades dränagesystemen. Det visade sig att delar av systemet var i så dåligt skick att filmning ej var möjlig (figur 3-1). Slamprover för mikroskopering togs innan spolningen. Vattenprov för kemisk analys togs två dagar efter spolningen, så att spolvatten inte skulle vara kvar i systemet.



Figur 3-1 Bild av dränaledning, Kraftigt rotinträngning. Ledningsfilmning 2012.

Det första provet togs i mätbrunn 1, den första mätbrunnen vid damm 3. Slamprov togs från uppströms inledning till brunnen. Trots att det stod vatten över utloppet var det relativt lite avlagringar på rören (se figur 3-2).



Figur 3-2 Mätbrunn 1



---

Nästa slamprov togs från dränagets vid damm 3 utlopp. Även där var det relativt lite avlagringar i själva röret, som inte bedömdes hindra vattenflödet. På marken nedanför utloppet var däremot en tjock matta av material, som dock mest verkade bestå av nedfallna löv (se figur 3-3).



**Figur 3-3 Material nedanför utloppet**

Från dränagesystemet vid damm 5 togs tre slamprover. Dränagesystemet består av två brunnar med vardera två inledningar och ett utlopp. Varje inledning är ett sex meter långt dräneringsrör som slutar i ett stenfyllt dräneringsdike. Utloppen leder till ett öppet dike ca 50 m nedanför dammen.

I mätbrunn 5 togs provet från vänster inlopp (5A). Efter spolning ökade flödet kraftigt.

Även i mätbrunn 6 togs provet från vänster inlopp (6A). Där var kraftiga avlagringar som närmast dämde upp vattnet bakom. Efter att provet tagits flödade vattnet fritt (se figur 3-4).



**Figur 3-4 Mätpunkt 6A. Man ser tydligt var provet har tagits i utloppsrörets vänstra sida.**

Ett prov togs även i det öppna diket där utloppet från brunn 5 mynnar. Där var stillastående vatten och kraftiga avlagringar, med rörmynningen helt under vattenytan (se figur 3-5).



**Figur 3-5** Det dike där utloppet från brunn 5 mynnar, före spolning

Efter spolning av brunn 5 flödade vattnet i diket och mynningen befann sig åter ovan vattenytan. Liknande förhållanden fanns vid mynningen av utloppet från brunn 6.

Dränagesystemet till damm 6 är konstruerat på liknande sätt som det till damm 5. Här var brunnarna helt torra varför inga prover togs. Var utloppsledningarna mynnade gick inte att finna, troligen mynnar de under vattenytan i det öppna dike som ligger en bit nedanför dammen (se figur 3-6). Utloppsledningarna var i så dåligt skick att de ej gick att spola eller filma.



**Figur 3-6** Öppet dike nedanför damm 6

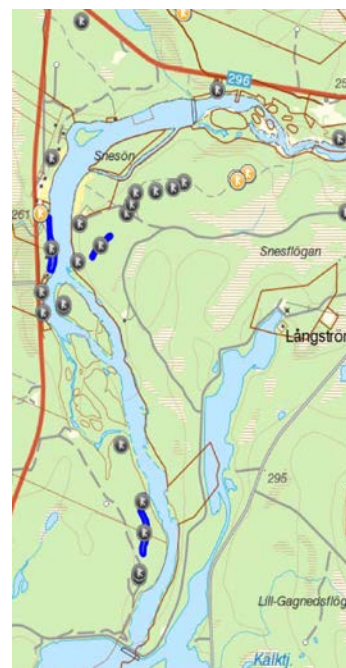
Slutligen togs vattenprov för kemisk analys från utloppet vid damm 3:s dränagesystem (figur 3-7).





**Figur 3-7 Utloppet nedanför damm 3 efter spolning**

Omgivningarna runt Långströmmen visar tydliga tecken på rik förekomst av järn i grundvattnet. Riksantikvarieämbetets databas Fornsök visar även på rester av förhistorisk järnutvinning (blästplatser och blästbrukslämningar) i området (figur 3-8).



**Figur 3-8 Sökresultat från Fornsök. Träffar med anknytning till förhistorisk järnutvinning gulmarkerade. Dammanläggningen längst ned i bild. Fornsök 2012**

### 3.3 Foskvattnet

Foskvattnet ligger några mil norr om Laxviken i norra Jämtland och är en anläggning som byggdes 1988 för att utnyttja fallhöjden mellan sjöarna Stor- och Lillfoskvattnet. Nedanför dammens högra del finns ett dränagesystem där det förekommer rikligt med avlagringar. Prover för mikroskopering togs i två brunnar, brunn 7 (figur 3-9)



**Figur 3-9 Foskvattnet brunn 7**

och brunn 10 (figur 3-10), som är den sista brunnen innan utloppet. Vattenprov för kemisk analys togs vid brunn 10.



**Figur 3-10 Thomsonöverfall i brunn 10**

Även nedanför dammens vänstra sida finns ett dränagesystem. Där har inga problem med järnutfällningar påträffats (se figur 3-11). Även där togs vattenprov för kemisk analys.



Figur 3-11 Mätbrunn vid Foskvattendammens vänstra sida

### 3.4 Håckren

Håckrendammen är en dammanläggning i västra Jämtland. Dammen är 60 meter hög och reglerar Håckrenmagasinet, en sjö som används för årsreglering. Dammen är relativt kort och har ett dränagesystem som består av ledningar som via varsin observationsbrunn leder till en uppsamlings- och mätbrunn, placerad ungefär vid dammens mitt, där flödet mäts med Thomsonöverfall. Därifrån leds vattnet till ett öppet dike nedströms, i vilket ytterligare ett Thomsonöverfall är placerat. I dränagesystemet har inga problem med utfällning av järnbakterier observerats.

Under dammen är en tunnel sprängd i berget för övervakning av berggrundens stabilitet. Tunneln fungerar även som dränageledning för undergrunden. I tunnelväggen samt golvet är med jämna mellanrum borrarat dränagehål. Vid flera av dessa finns kraftiga orange-bruna biomattor. Vid ett av hålen, där det enligt uppgift tidigare avsatts slam i en sådan mängd att arbete i tunneln försvårats, har man för att avhjälpa problemet lett läckagevattnet i en slang hela vägen till pumpbrunnen vid tunnelentrén. I den brunnen mäts flödet via ett Thompsonöverfall. I brunnen finns material avsatt av järnbakterier, men inte i sådan mängd att det utgör ett praktiskt problem. Från biomattan vid ett av dränagehålen i tunneln togs prov för mikroskopering.

### 3.5 Fältförsök

För att undersöka om det går att minska problemet med slamavsättning enbart genom att ändra utformningen av mätbrunnarna i dränagesystemen byggdes en försöksuppställning och placerades i Långströmmen.

#### 3.5.1 Teori bakom försöksuppställning:

Stjälk- och skidformande järnbakterier behöver en gradient från anaerobt eller mikroaerobt vatten till aerob miljö för att kunna tillväxa. Dessutom krävs ett lagom flöde, så att tillräckligt med järn tillförs samtidigt som de mekaniska krafterna inte är så stora att biofilmen inte kan påbyggas där vattnet flödar.

Idén bakom uppställningen är således att kraftigt syresätta vattnet under sådana förhållanden att biofilm ej kan bildas. Eventuellt redan bildat material ska sedimentera på sådant sätt att det inte stör mätning och är lätt att avlägsna.

---

Med enbart målsättningen att minimera mängden järnoxiderande bakterier vore det optimalt att dränageledningarna hålls syrefria fram till mätbrunnen, men med tanke på att flödet kan variera med en faktor 20 samt att systemet ska ha hög tillgänglighet för underhåll anses inte det vara realistiskt.

Nackdelen med denna uppställning är bland annat att den kräver relativt stor fallhöjd samt större utrymme än vad som oftast är tillgängligt vid befintliga anläggningar.

### 3.5.2 Konstruktion

Uppställningen konstrueras som ett dubbelt överfall, där vattnet faller fritt ned i den första bassängen. Avsikten med detta första fall är att fullständigt syresätta vattnet. Eventuellt material som redan bildats i vattnet sedimenterar i denna bassäng och hindras, eventuellt med dämpplåtar, från att transporteras till själva mätöverfallslådan.

Lådorna består av vardera en tillsynsbrunn av modell tegra 600 från Wavin i polypropen (Wavin, 2012). Syftet med att använda tillsynsbrunnar var att söka efterlikna förhållanden som är vanliga på tillgängliga anläggningar. Brunnar av plast valdes för enkelhet vid hanteringen, den ringa vikten innebar att en person kan hantera och justera installationen utan hjälpmedel. Dämpplåtar byggdes av 1,5 mm tjock plan PVC-plast som fästes med skruv och mutter i brunnen.

Av utrymmesskäl placerades brunnarna en bit ifrån varandra, och vattnet leddes genom ett PVC-rör mellan dem (figur 3-12).



**Figur 3-12** Översikt av försöksuppställningen

För att få mer turbulens och därmed högre syresättning av vattnet placerad en sten i botten på den övre brunnen, så att den inkommande vattenstrålen träffade stenen (figur 3-13).





**Figur 3-7 vattnets flöde ner i den övre brunnen**

På dämpplåten i den nedra brunnen fästes en pegelskala i form av en ställinjal. Syftet var dels att få en snabb överblick över flödet, dels att få en metallyta i brunnen (figur 3-14).



**Figur 3-8 Pegelskala i form av ställinjal**

I sidan av mätbrunnen sågades ett Thomsonöverfall ut. Då väggen är välvd fick överfallet en något annan geometri än ett korrekt Thomsonöverfall, men syftet med var att studera huruvida beläggningar bildades kring överfallet, inte att få en exakt flödesmätning.

Som skydd mot nedfallande löv och annat skräp samt för att undvika att regnvatten påverkar vattenkemin täcktes uppställningen med en presenning.

---

## 4 Resultat

### 4.1 Mikroskopering

I alla prover kunde skidformade strukturer som kan antagas härröra från *L. ochracea* iakttas, och i några prover även spiralformade stälkar från *Gallionella f.* Resultaten för varje prov kan ses nedan i tabell

Tabell 4-1

| Anläggning   | Prov  | L. ochracea | Gallionella f. |
|--------------|---|-------------|----------------|
| Långströmmen | Mätbrunn 1                                      | x           |                |
|              | Mätpunkt 4                                      | x           |                |
|              | Mätpunkt 5A                                     | x           |                |
|              | Mätpunkt 6A                                     | x           | x              |
|              | Utlopp nedströms<br>mätpunkt 5                  | x           | x              |
| Häckren      | Dränagehål i<br>inspektionstunnel<br>under damm | x           |                |
| Foskvattnet  | Mätbrunn 11                                     | x           | x              |
|              | Mätbrunn 7                                      | x           | x              |

Inget av proverna reagerade på något sätt på magnetisk påverkan.

### 4.2 Kemisk analys

Vattenprover från Långströmmen och Foskvattnet skickades till ALS för totalanalys av järn- och manganinnehåll. Sedan tidigare fanns analyser av slam från inspektionstunneln under Häckrenmagasinet samt av läckvatten från Svegsdammen och slam från Vargforsen.

Analyserna visar på höga värden av järn (0,437-1,57 mg/l) och mangan (173-670 µg/l) för alla vattenprover utom det som togs vid Foskvattnets vänstra damm (0,0294 mg/l Fe, 14,8 µg/l Mn).

På provet från Långströmmen gjordes även en analys av suspenderat material. Den visar på icke detekterbara nivåer (<5 mg/l), med reservation för att det gick lång tid mellan provtagning och analys. Det skulle kunna innebära att material hinner sedimentera innan analysen görs, men inget sedimenterat material syntes i provbehållarna.

Analysprotokoll finns som bilaga 1, notera att Långströmmen felaktigt benämns "Långforsen".

Proverna från Svegsdammen visar på måttliga järnhalter i till mätbrunnen inkommande vatten, medan totalhalten järn inklusive turbiditet är hög. Detta indikerar att fällningarna bildats högre upp i systemet och transporterats via dränageledningarna till mätbrunnen.

Analysresultatet från Vargforsen visar att slammet där består till 47 % ts av järn. Analysprotokollen från prov tagna vid Häckrendammen finns tyvärr inte tillgängliga, men i ett PM (Hultman, 2010) nämns att de visar att slammet består till största delen av järn och mangan.

### 4.3 Flödesmätningar Foskvattnet

För att utröna hur flödet över ett överfall påverkas av avlagringar på materialet gjordes flödesmätningar med hink och klocka vid två överfall i Foskvattendammens dränagesystem. Efter renskrapning av överfallsvärnet mättes flödet igen, och vattenytans höjd noterades. Mätningarna gjordes med stoppur och en hink med volymen 5,4 l.

#### 4.3.1 Mätbrunn 11

Den automatiska mätningen angav ett flöde på 2,0 l/s, vilket var oförändrat efter rensning. Resultatet från mätningarna med hink och klocka ses nedan:

**Tabell 4-2**

| Mätning:                        | 1    | 2    | 3    | medel | Medelflöde (l/s): |
|---------------------------------|------|------|------|-------|-------------------|
| Tid för uppfyllning av hink (s) |      |      |      |       |                   |
| före rensning:                  | 2,41 | 2,28 | 2,34 | 2,34  | 2,30              |
| efter rensning:                 | 2,29 | 2,34 | 2,4  | 2,34  | 2,30              |

#### 4.3.2 Mätbrunn 7

Den automatiska mätningen angav ett flöde på 7,3 l/s före rensning, och 7,7 l/s efter rensning, vilket motsvarar en höjning av vattenytan. Resultatet från mätningarna med hink och klocka ses nedan:

**Tabell 4-3**

| Mätning:                        | 1    | 2    | 3    | medel | Medelflöde (l/s): |
|---------------------------------|------|------|------|-------|-------------------|
| Tid för uppfyllning av hink (s) |      |      |      |       |                   |
| före rensning:                  | 3,46 | 3,93 | 3,8  | 3,73  | 1,45              |
| efter rensning:                 | 3,52 | 3,74 | 3,41 | 3,56  | 1,52              |

Mätbrunn sju hade avsevärt mer beläggningar än mätbrunn 11, och även spetsigare vinkel i överfallets öppning. Diskrepansen mellan uppmätt och avläst värde förklaras av att den automatiska flödesmätningen är inställd på 90° vinkel i överfallets öppning, medan den i verkligheten är avsevärt mindre.

#### 4.3.3 Resultat av fältförsök

Försöksuppställningen konstruerades den 21 juli 2012. Vid ett besök den 29 augusti befanns presenningen dragen åt sidan och den nedre av de två plastbrunnarna vält upp och ner. Förutom detta var uppställningen orörd.

Inuti den övre brunnen och i PVC-röret iakttogs en tunn ockrafärgad biofilm. Det fanns även tecken på tillväxt där vattnet träffade botten på den kullkastade undre brunnen. Då det inte gick att avgöra hur länge uppställningen befunnit sig i det här tillståndet var det svårt att avgöra omfattningen av tillväxten.

---

Den nedre brunnen vändes rätt och presenningen återställdes. Stenarna i den övre brunnen arrangerades om för att försöka få bättre syresättning av vattnet (figur 4-1).



**Figur 4-1 Nyarrangering för att få bättre syresättning av inkommande vatten**

Nästa besök gjordes den 19 september, då uppställningen hade fått stå orörd i tre veckor. Den nedre brunnen var då täckt med en tunn ockrafärgad biofilm på alla ytor som varit täckta av vatten (figur 4-2). Även PVC-röret hade invändigt en beläggning. På väggarna av den övre brunnen, som inte varit övertäckt och därmed exponerad för solljus, hade trådformiga alger växt för att sedan täckas av den järnhaltiga biofilmen, vilket gav brunnens insida karaktären av en ockrafärgad ryamatta.



**Figur 4-2 Biofilm på insidan av mätbrunnen**



---

## 5 Diskussion

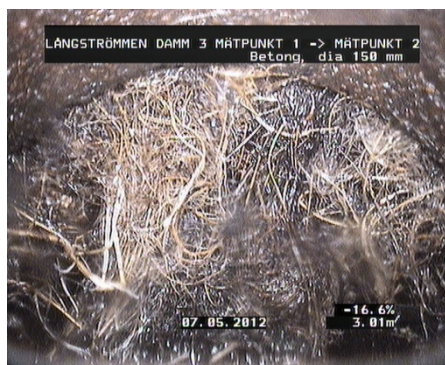
Utifrån resultaten kan det anses visat att de problem med ockrafärgade avlagringar som iakttagits i dränagesystemen vid dammanläggningar beror på järnbakterier som vid sin tillväxt bildar stjätkar eller skidor som bidrar till ansamling av järnoxhydroxider. Problemet har sin grund i att berggrunden och därmed grundvattnet är järnhaltigt.

För att klargöra problemets omfattning är det framför allt de tre i syftesdelen formulerade frågorna man måste besvara:

- Finns risk för att material från dammkärnan spolats ut?
- Finns risk för att dräneringssystemets funktion störs i sådan utsträckning att dammstabiliteten äventyras?
- Störs flödesmätningarna i sådan omfattning att det är nödvändigt att vidta åtgärder?

Svaren på de tre frågorna blir, efter vad mina undersökningar sökt visa, nej, ja och ja. I inget fall som redovisas här finns tecken på att material från dammkärnan bidrar till de avsättningar som bildas, vilket överensstämmer med internationella studier (Bea *et al*, 2012). Skulle så vara fallet att genom inre erosion material börjar transporteras från tät kärna eller filter, så är ett ökat flöde eller sjunkgropar i dammen tydliga indikationer på detta, som är lättare att mäta eller upptäcka (Rönqvist, 2010). Att mäta turbiditet i läckagevattnet för att upptäcka materialtransport är en metod som ofta föreslås. I ett system med förekomst av järnbakterier riskerar man att utfällning av bakteriellt material stör mätningen i sådan omfattning att den inte fungerar som erosionsvarning. Skall turbiditetsmätning installeras bör därför förekomsten av järnjoner i vattnet kontrolleras i förväg.

Om så mycket material skulle ackumuleras att flödet i dräneringen avsevärt hindras, finns risk för höga portryck och därmed följande instabilitet i dammkärnan. Att en sådan mängd material skulle ansamlas på så kort tid som ett serviceintervall är dock föga troligt, förutsatt att ledningarna spolats. Det skulle kräva att en sådan mängd järn behöver transporteras till dränageledningarna att flödet i sig skulle fungera som spolning, då avlagringarna initialt inte sitter särskilt hårt fast (Emerson & Revsbech, 1994). Dock kan det tänkas att det i skadade ledningar med rotinträngningar, förskjutningar eller andra obstruktioner samlas utfällningar, infallen jord och organiskt material som inte lätt spolats bort (se Figur 5-1). Järnutfällningarna kan då förvärra, men kanske även påvisa, ett befintligt problem.



Figur 5-1 Kraftig rotinträngning. Långströmmen damm 3. Ledningsfilmning 2012.

Att flödesmätningarna i dammen är tillförlitliga är viktigt för att kunna kontrollera dammens funktion. Det är även viktigt att driftspersonalen kan lita på mätvärdena, för att undvika onödiga och kostsamma extra inspektioner. Det är egentligen tre olika fall som kan identifieras där avsättning från järnbakterier skulle kunna påverka mätningen. Det första fallet är när nivågivarens funktion störs av att vattnet är

---

bemängt med järnbakterier. Detta problem varierar i storlek beroende på val av nivågivare. Teoretiskt borde givare som är nedsänkta i vattnet, såsom tryckgivare, påverkas mer än givare som inte är i fysisk kontakt med vattnet, såsom ultraljudsmätare. Hur flottörer och displacementgivare påverkas är osäkert, men det är tänkbart att en ökad friktion mellan mätkropp/flottör och monteringsrör/kanalvägg påverkar mätresultatet. Optisk avläsning mot en pegelskala kan naturligtvis försvåras avsevärt.

Det andra fallet är när beläggningen av en biofilm på överfallsplåten förändrar dess hydrodynamiska egenskaper, så att flödet över kanten för en viss uppströms nivå ökar eller minskar (se figur 5-2).



**Figur 5-2** Flöde över ett Thomsonöverfall med kraftiga beläggningar. Mätbrunn 7, Foskvattnet.

Resultatet från flödesmätningarna i Foskvattnets mätbrunn 11 tyder på att så inte är fallet. Mätningarna i mätbrunn 7 i samma anläggning är mer svårtolkade. Att flödet ökar efter rensning, speciellt i ett överfall med så spetsig vinkel, är i sig inte konstigt då avlagringar skulle kunna sätta igen vinkelspetsen. Att vattenytans nivå samtidigt höjs är däremot anmärkningsvärt, och tyder på ett faktiskt ökat inflöde till mätbrunnen. Inga yttre faktorer av typ väderomslag eller liknande som kunde förklara ett ökat inflöde noterades under den relativt korta tid som mätningarna gjordes. En möjlig orsak är att det under den dämpskiva som sitter vid brunnens inlopp (figur 5-3) funnits så mycket ansamlad material att det haft en dämmande effekt, och att turbulensen då jag rensade överfallet fick detta att lossna och transporteras bort.



**Figur 5-3** Dämpskiva i mätbrunn 7, Foskvattnet

Tredje fallet är när överfallets öppning är helt eller delvis täckt med avsättningar, så att både geometri och nollnivå förändras. Förekommer detta krävs att driftspersonal på plats rensar överfallsvärnet och

---

andra strukturer såsom dämpskivor, se föregående stycke. Det är alltså önskvärt att undvika att detta problem uppstår.

Om man vill mäta andra egenskaper än enbart flöde på dränagevattnet, exempelvis temperatur eller turbiditet, kan detta försvåras eller omöjliggöras på grund av förekomsten av järnbakterier. Man måste då från fall till fall avgöra om mätningen är så viktig att åtgärder måste vidtas, eller om önskvärd funktionalitet kan erhållas på annat vis.

Om problem konstateras är metoderna för att avhjälpa dessa varierande. Det vanligaste är regelbunden spolning och slamsugning av systemen, för att få bort redan existerande beläggningar. Detta kan vara kostsamt, särskilt i anläggningar som av olika skäl inte är lämpligt utformade för detta. Man kan också ställa sig frågan om mätningarna störs i sådan omfattning att mätresultat före och efter spolning inte är jämförbara.

Att förhindra att biofilmen uppstår från första början vore naturligtvis önskvärt. De olika metoder för att förändra markkemin som beskrivits (spridning av nitrat, nedplöjning av sågspån eller alkaliskt filtermaterial) skulle eventuellt kunna vara effektiva, men testprogram skulle behövas för att utröna hur de fungerar över längre tid.

Tillsatser direkt i läckagevattnet är på många sätt mindre komplicerat och lättare att kontrollera. Här skulle mer forskning behövas för att fastställa vilka nivåer som behövs och vilka effekter det får. Att till exempel sänka pH på läckvattnet kan leda till oönskade effekter såsom korrosion av mätutrustning.

Att manipulera syrenivåerna i vattnet är ett sätt att förhindra bakterietillväxt och därmed oxidation av järn. I en helt anaerob miljö kommer ingen oxidation att ske. Det är troligtvis det man lyckats uppnå i det dränagehål under Håckrenmagasinet där vattnet leds i en slang ända till pumpbrunnen. Med dessa speciella förutsättningar (dränagehål i berggrund, tillräcklig fallhöjd, ingen mätning av flödet) kan en sådan lösning vara den bästa.

För ett dränagesystem av vanlig typ under en damm är det dock flera faktorer som talar mot en sådan lösning. Dränagesystemet ska täcka in en så stor del av dammen som möjligt, helst hela, och det är då svårt att förhindra att läckagevattnet syresätts redan i stenfyllningen. Systemet måste även utformas för att ta emot ett flöde många gånger större än det normala, vilket gör det svårt att konstruera vattenvägar som inte hindrar ett höglöde men ändå är vattenfyllda vid låglöde. Även själva flödesmätningen kan vara svår att utforma syrefritt, särskilt om man vill ha flera mätningar längs en ledningssträcka.

Att som i försökssuppställningen kraftigt syresätta vattnet innan mätbrunnen innebär även det svårigheter. Som försöket visar så hindrar inte den extra luftningsbrunnen att biofilm bildas i mätbrunnen. Transport av material som avsatts högre upp i dränagesystemet och slutligen hamnar i mätbrunnen kan vara en orsak (Eurenius, 2011). Bildandet av anaeroba eller mikroaeroba fickor efter syresättningen är en annan. Båda dessa problem kan eventuellt vara möjliga att bygga bort med anpassade konstruktionslösningar, men i dagsläget är det inte en framkomlig väg.

Även om man hittar en konstruktion som effektivt hindrar bakterier från att bilda en biofilm kvarstår problemet att en syresättningslösning kräver utrymme och fallhöjd, minst ett par dm per mätöverfall vid normala flöden, något som kan vara en bristvara i dränagesystem. Eftersom alla anläggningar har sina egna begränsningar och möjligheter går det kanske inte att hitta en lösning som alltid fungerar.

Tills en metod för att undvika uppkomsten av biofilm framtagits torde den bästa metoden för att kontrollera problemet vara regelbundet underhåll av dränageledningarna, en slutsats som stöds av liknande analys av situation för dräner i tunnlar (Ekliden, 2008). Det är visat att spolning med vatten är ett effektivt sätt att avlägsna beläggningar (Bea *et al.*, 2012). I kombination med ett kontinuerligt underhåll för att undvika rotinrängning, sprickor och andra skador i rörledningar samt i vissa fall

---

slamsugning av brunnar borde det innebära ett kostnadseffektivt sätt att kontrollera problemen. Det kan vara önskvärt att ledningar filmas med jämna intervall för att se i vilket tillstånd de befinner sig, detta kan exempelvis ske i samband med FDU (Fördjupad dammsäkerhetsutvärdering, sker för närvarande vart 15:e år). Att komplettera instrumenteringen i mätbrunnar med kameraövervakning i de anläggningar där mätningarna påverkas av järnbakterier kan vara ett bra sätt att utvärdera ursprunget till förändrade mätvärden, utan kostsamma inspektionsbesök.

Vid nybyggnation eller renovering av dammar bör man tänka på att göra dränagesystemet lättillgängligt, så att kontroll och spolning underlättas. Man bör även tänka på att bygga så att det finns utrymme att implementera eventuella framtida lösningar, utfall sådana finns nödvändiga.

## 6 Slutsatser

De slutsatser som kan dras från de undersökningar som gjorts samt med litteraturstudien som grund är:

- Det rostfärgade slam som uppträder i dränageledningar och mätbrunnar vid många dammanläggningar härrör från järnbakterier, som oxiderar Fe(II) till Fe(III).
- Slammet i sig är inte ett tecken på inre erosion i dammkroppen.
- I dagsläget är det bästa sättet att hantera problem med järnutfällning regelbunden slamsugning av brunnar och vattenspolning av ledningar samt rensning av mätöverfall.
- Om mätningarna vid ett Thomsonöverfall störs i hög grad av slam, bör överfallet kompletteras med andra metoder för läckageövervakning.
- Vid anläggning av dränagesystem i områden där rostutfällning är trolig bör systemet planläggas så att det är lätt att underhålla.

### 6.1 Förslag till fortsatta studier

En tillfredställande metod för att förhindra uppkomst av järnbakterier och deras restprodukter i dränagesystem kan inte utformas utan studier över längre tid, helst ett par år. Exempel på sådana är:

- Kontrollerade studier av hur järnbakterier reagerar på förändringar i vattenkemin (pH, redoxpotential, syresättning)
- Studier av hur biomatta tillväxer på olika material (stål, koppar, plaster, betong)
- Fältförsök med olika fyllnings- och filtermaterial runt dränageledningar (sågspån, alkaliska material)
- Fältförsök med motdämda dränageledningar

---

## 7 Referenser

- Bea J, Kim Y, Kim J, Ban Y, Nakase Y, Yotsuji M. 2012. Iron bacteria at the drain pipes in gravity dams and their treatment. Ur International symposium on dams for a changing world, Kyoto.
- Berglund G, Huhtasaari c, Ingevall A. Dränering av jordar med rostproblem. Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för markvetenskap, rapport 138
- Boers T M, van der Molen W H, Eppink L A A J, Ben-Asher J, 1991. Effect of the Thomson weir and weirbox on the measurement of flow rates from micro-catchments and runoff plots. J Hydrol, 128:29-39
- Dahlbäck N, 2010. Utvecklingsbehov inom reglerkraftsområdet ur ett vattenkraftperspektiv – elforsk rapport 10:11. Stockholm, Elforsk.
- Ehrenberg C G, 1836. Vorläufige Mittheilungen über das wirkliche vorkommen fossiler Infusorien und ihre Große Verbreitung. Annalen der Physik 213-227
- Ekliden J, 2008. Igensättning av dräner i bergtunnlar. Earth sciences centre, University of Gothenburg, B 543
- Ekström I, Persson K, Jender M, Mencin N, Roll F, Bergman M, 2009. Vargfors dammsäkerhetshöjande åtgärder, fyllningsdammar. Rapport Sweco Infrastructure AB, uppdrag 2166147
- Emerson D, Fleming E J, McBeth J M, 2010. Iron-oxidizing bacteria: an environmental and genomic perspective. Annu. Rev. Microbiol. 2010. 64:561-83
- Emerson D, Revsbech N P, 1994. Investigation of an iron-oxidizing microbial mat community located near Aarhus, Denmark: Field studies. Appl. Environ. Microbiol. 60(11):4032
- Enmark G, 2011. Analys av dammätningar Svegsdammen. Rapport Sweco Infrastructure AB, uppdrag 2167066400
- Enqvist A, 2008. Temperaturbaserad läckagemätning i fyllningsdammar – modellering och analys av data från Näs kraftstation. KTH. TRITA-LWR Master Thesis
- Eurenius L, 2011. Utvärdering av analysvar på läckvatten från Svegsdammen, brunn 4 (MB4V) och brunn 5 (MB5V). PM Sweco Environment AB, uppdrag 1644401001
- Fleming E J, Langdon A E, Martinez-Garcia M, Stepanauskas R, Poulton N J, Masland E D P, Emerson D. 2011. What's new is old: Resolving the identity of *Leptothrix ochracea* using single cell genomics, pyrosequencing and FISH. PLoS ONE 6(3): e17769
- Ford H W, Spencer W F, 1962. Combating iron oxide deposits in drain lines. Proceedings of the Florida state horticultural society, Vol. 75, 27-32
- Göransson T, Benckert A, Lindvall M, Ritzén R, 2000. Dam failure at the Aitik mine: Investigations, conclusions and measures taken. Gallivare: Boliden Mineral AB, Aitik Mine.
- Hallbeck L, Pedersen K, 1995. Benefits associated with the stalk of *Gallionella ferruginea*, evaluated by comparison of a stalk-forming and a non-stalk-forming strain and biofilm studies *in situ*. Microb Ecol 30:257-268
- Hallbeck L, Ståhl F, Pedersen K, 1993. Phylogeny and phenotypic characterization of the stalk-forming and ironoxidizing bacterium *Gallionella ferruginea*. Journal of General Microbiology (1993), 139, 153 1-1 535.

- 
- Hedrich S, Schlömann M, Barrie Johnson D. 2011. The iron-oxidizing proteobacteria. *Microbiology* 157 1551-1564.
- Hultman R, 2010. Åtgärder efter Håckren dam safety review. PM Sweco Infrastructure AB
- Höeg K, Viotti C, Engström Å, Aufleger M, 2008. Håckren dam safety review – Review panel report 2008-12-05. Svenska kraftnät
- Johansson M, Björkman H, Stormark L, Huss J, Nilsson T, Öhr Hellman J, 2010. Fördjupad dammsäkerhetsutvärdering 2009. Stockholm, WSP Samhällsbyggnad
- Johnell A, Eggertsson Karlström C, 2001. Översvämningar I Sundsvallstrakten. Väder och Vatten, SMHI Okt 2001.
- Kappler A, Benz m, Schink B, Brune A. 2003. Electron shuttling via humic acids in microbial iron(III) reduction in a freshwater sediment. *FEMS Microbiology Ecology* 47, 85-92
- Lagerlund J, 2007. Reparationsmetoder för dammkropp i relation till inre erosion- elforsk rapport 07:53. Stockholm, Elforsk
- Lindström H, 2008. Jordbruksdränering, kostnader och utförande. Alnarp, Sveriges lantbruksuniversitet, LTJ-fakulteten
- Lundin U, 2006. Hydropower booklet – technology and system. Course material for hydropower engineering, 1ET202 . Department of Engineering sciences, Uppsala universitet.
- Länsstyrelsen i Norrbottens Län, 2006. Dammhaveriet vid Boliden mineral AB:s anläggning i Aitikden 8 september 2000 – bedömning av orsakerna till dammhaveriet. Luleå. Länsstyrelsen i Norrbottens län rapportserie 6/2001.
- Mohlin B, 2012. Sweco Infrastructure AB, Vattenkraft och dammar. Muntlig uppgift.
- Mulder E G, 1964. Iron Bacteria, particularly those of the *Sphaerotilus- Leptothrix* Group, and Industrial Problems. *J. appl. Bact.* 27 (I), 151-173.
- Möller B, 2006. Instrumentering av jordfyllningsdammar: Erfarenheter från projektering och installationer av automatiska mätsystem. *Bygg & Teknik* 2/2006, Stockholm
- Nielsen L, 2009. LKAB Damm C-B – utredning angående risken för igenslamning på grund av järnutfällning. Rapport Sweco Environment AB, uppdrag 2167107
- Ridas 2012 (2011). Ridas 2012 – kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet. Svensk Energi.
- Riksrevisionsverket, 2007. Säkerheten vid vattenkraftdammar. Stockholm RiR 2007:9
- Rönnqvist H, 2010. Predicting surfacing internal erosion in moraine core dams. KTH. TRITA-LWR Lic Thesis 2050
- Shen J, 1981. Discharge characteristics of triangular-notch thin-plate weirs. Washington, Geological survey water-supply paper 1617-B.
- Statens haverikommission, 2011. Slutrapport RO 2011:01 - Dammbrott, Hästberga, Hässleholms kommun, Skåne län, den 7 november 2010. Stockholm. Dnr O-12/10
- Straub K L, Benz M, Schink B, Widdel F. 1996. Anaerobic, nitrate-dependent microbial oxidation of ferrous iron. *Appl. Environ. Microbiol.* 62(4):1458
- SWEDCOLD, 2010. Material från SWEDCOLDS temadag 2010-10-19, Dammövervakning och hantering av mätdata. [www.swedcold.org](http://www.swedcold.org)

---

SWEDCOLD, 2011. Material från SWEDCOLDS temadag 2011-11-08, Dammsäkerhet och säkerhetsledningssystem. [www.swedcold.org](http://www.swedcold.org)

Svensk Energi (2012). Elåret 2011. Svensk Energi.

Thomson J, 1861. On experiments on the gauging of water by triangular notches. Manchester, Report of the British association.

Vattenfall, 1988. Jord- och stenfyllningsdammar. Stockholm

Wavin, 2012. Brunnar i plast, det naturliga valet. [www.wavin.se](http://www.wavin.se)

Wiberg U, Eriksson H, Engström Å, 2009. Betongdammar. Ur Dammar och dammsäkerhet, kursmaterial 2009-11-05, Svensk energi, KTH

Winogradsky S, 1888. Ueber eisenbakterien. Botanische Zeitung v 46 nr 17.

Yi W, Wang B, Qu D, 2011. Diversity of isolates performing Fe(III) reduction from paddy soil fed by different organic carbon sources. African Journal of Biotechnology 11(19), 4407-4417

## 7.1 Figurer

Figur 2-1, 2-2: Rönqvist H, 2002. Fyllningsdammars känslighet för inre erosion – en utvärdering av vattenfalls fyllningsdammar. Kungliga tekniska högskolan, institutionen för vattenbyggnad, Stockholm

Figur 2-3: Åmansboken, 2003. Åar och bäckar i jordbrukslandskapet - Historik, skötsel och åtgärder. Saxån-Braåns vattenvårdskommitté, ekologgruppen. <http://www.saxan-braan.se/amans/htm/main.htm>, 2012-10-23

Figur 2-4: Ghiorse W, 2002. *Gallionella* and Sheathed Bacteria in Iron-Rich Pond Water. American society for microbiology. <http://lib.jiangnan.edu.cn/ASM/357-Introduce.htm>, 2012-10-23

Figur 3-8: Fornsök, 2012.

[http://www.fmis.raa.se/cocoon/fornsok/search.html?category=6&use\\_extent=true&extent=493583.46604799817,6883304.800682095,506283.4591900018,6888966.880957904&tab=2&page=1&layers=Sverige;Forn%C3%A4mningar%20geometrier;Forn%C3%A4mningar%20symboler;Polygonlager%20f%C3%B6r%20utritning;Forn%C3%A4mningar%20markering;&overview=0](http://www.fmis.raa.se/cocoon/fornsok/search.html?category=6&use_extent=true&extent=493583.46604799817,6883304.800682095,506283.4591900018,6888966.880957904&tab=2&page=1&layers=Sverige;Forn%C3%A4mningar%20geometrier;Forn%C3%A4mningar%20symboler;Polygonlager%20f%C3%B6r%20utritning;Forn%C3%A4mningar%20markering;&overview=0), 2012-10-23

Figur 3-1, 5-1: Ledningsfilmning 2012. Bilder från ledningsfilmning utförd 2012-05-07 av Johannesson och Fager

Alla övriga bilder tagna av författaren.

## 8 Tabeller

Tabell 3.1, s 16: Metodöversikt

Tabell 4.1, s 25: Resultat mikroskopering

Tabell 4.2, s 26: Flödesmätning Foskvattnet mätbrunn 11.

Tabell 4.3, s 26: Flödesmätning Foskvattnet mätbrunn 7.





# Rapport

Sida 1 (2)



L1215169

14BJM22IQYO



Projekt 2163059

**SWECO Infrastructure AB**  
Anders Hamrén

Registrerad 2012-06-25  
Utfärdad 2012-06-29

**Bangårdsg 2**  
831 27 Östersund  
Sweden

## Analys: V2BAS

| Er beteckning  | Foskvattnet höger |                  |       |       |     |      |
|--|-------------------|------------------|-------|-------|-----|------|
| Labnummer  | U10767758         |                  |       |       |     |      |
| Parameter  | Resultat          | Mätosäkerhet (±) | Enhet | Metod | Utf | Sign |
| Filtrerad med 0,45µm*  | Nej               |                  |       | 1     | I   | LS   |
| Fe   | 1.51              | 0.27             | mg/l  | 1     | H   | HEOS |
| Mn   | 173               | 30               | µg/l  | 1     | H   | HEOS |
| Provtagare: Anders Hamrén Provtyp: Grundvatten Provtagningsdatum: SAKNAS |                   |                  |       |       |     |      |

| Er beteckning         | Foskvattnet vänster |                  |       |       |     |      |
|-----------------------|---------------------|------------------|-------|-------|-----|------|
| Labnummer             | U10767759           |                  |       |       |     |      |
| Parameter             | Resultat            | Mätosäkerhet (±) | Enhet | Metod | Utf | Sign |
| Filtrerad med 0,45µm* | Nej                 |                  |       | 1     | I   | LS   |
| Fe                    | 0.0294              | 0.0051           | mg/l  | 1     | H   | HEOS |
| Mn                    | 14.8                | 2.6              | µg/l  | 1     | H   | HEOS |

| Er beteckning         | Långforsen 1-3 |                  |       |       |     |      |
|-----------------------|----------------|------------------|-------|-------|-----|------|
| Labnummer             | U10767760      |                  |       |       |     |      |
| Parameter             | Resultat       | Mätosäkerhet (±) | Enhet | Metod | Utf | Sign |
| Filtrerad med 0,45µm* | Nej            |                  |       | 1     | I   | LS   |
| Fe                    | 1.34           | 0.24             | mg/l  | 1     | H   | HEOS |
| Mn                    | 670            | 117              | µg/l  | 1     | H   | HEOS |
| Susp mat*             | <5             |                  | mg/l  | 2     | W   | MARH |

| Metod |  |
|-------|--|
| 1     | Analys av vattenprov utan föregående uppslutning. Provet har surgjorts med 1 ml salpetersyra(suprapur) per 100 ml. Detta gäller dock ej prov som varit surgjort vid ankomsten till laboratoriet.<br><br>Vid analys av W har provet ej surgjorts. Vid analys av Se har provet uppslutits med HCl i autoklav (120°C) i 30 minuter.<br>Analys har skett enligt EPA-metoder (modifierade) 200.7 (ICP-AES) och 200.8 (ICP-SFMS). Analys av Hg med AFS har skett enligt SS-EN ISO 17852:2008 |
| 2     | Analys enligt SS EN 872:2005 Utgåva 2 tidskritisk analys.  |

| Godkännare |                  |
|------------|------------------|
| HEOS       | Helene Österlund |
| LS         | Linda Sandlund   |
| MARH       | Maria Hansman    |

| Utf <sup>1</sup> |          |
|------------------|----------|
| H                | ICP-SFMS |
| I                | Man.Inm. |
| W                | Våtkemi  |

\* efter parameternamn indikerar icke ackrediterad analys.

Mätosäkerheten anges som en utvidgad osäkerhet (enligt definitionen i "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISO, Geneva, Switzerland 1993) beräknad med täckningsfaktor lika med 2 vilket ger en konfidensnivå på ungefär 95%.

Mätosäkerhet från underleverantör anges oftast som en utvidgad osäkerhet beräknad med täckningsfaktor 2. För ytterligare information kontakta laboratoriet.

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Resultaten gäller endast det identifierade, mottagna och provade materialet.

Beträffande laboratoriets ansvar i samband med uppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webbplats [www.alsglobal.se](http://www.alsglobal.se)

Den digitalt signerade PDF filen representerar originalrapporten. Alla utskrifter från denna är att betrakta som kopior.

<sup>1</sup> Utförande teknisk enhet (inom ALS Scandinavia) eller anlitat laboratorium (underleverantör).



SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Box 7032  
750 07 UPPSALA  
Tel. 018-67 10 00  
pdf.fil: [www.slu.se/energi och teknik](http://www.slu.se/energi och teknik)

SLU  
Department of Energy and Technology  
P. O. Box 7032  
SE-750 07 UPPSALA  
SWEDEN  
Phone +46 18 671000